5К

УДК 519.7:007.52;004.8

Є.І. Кучеренко, І.С. Творошенко
Харківський національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна
tvoroshenko@gmail.com

Оперативне оцінювання простору станів складних розподілених об'єктів з використанням нечіткої інтервальної логіки

Розглянуті особливості розробки систем оперативного оцінювання станів складних об'єктів, що функціонують в умовах невизначеності. Обґрунтована міра наближення коефіцієнтів впевненості до функцій належності під час розробки методів і моделей оперативного оцінювання станів складних об'єктів. Це дозволяє на основі інтелектуальних підходів реалізувати процеси прийняття рішень у складних об'єктах, які функціонують за умов невизначеності.

Вступ

Відомо, що складність інтелектуальних засобів та систем визначається особливістю об'єктів дослідження [1-3]. Під час прийняття рішень у невизначеному середовищі виникає необхідність врахування нечітких властивостей об'єкта, поданих на деякому інтервалі значень лінгвістичних змінних [2]. Такі постановки характерні для систем оцінювання станів складних об'єктів у реальному часі, прийняття рішень в умовах надзвичайних ситуацій, обробки та реалізації нечітких запитів в умовах невизначеності великих розподілених систем у середовищі Internet [1] і деяких інших систем.

Побудова моделей, здатних приймати правильні рішення в умовах неповної і нечіткої інформації та використання їх у комп'ютерних системах, представляє сьогодні одну із важливих проблем обчислювального інтелекту [4].

Незважаючи на велику кількість наукових робіт за даною тематикою, все ще існує проблема дослідження нечітких мережних моделей. Відповідно існує потреба у комплексному розв'язанні складних задач, які виникають у ході побудови таких моделей.

У зв'язку з цим тематика даної роботи є актуальною та визначає перспективність як теоретичних, так і практичних результатів.

Постановка задачі дослідження

Вихідними даними для розв'язання задач прийняття рішень в умовах невизначеності є:

– нечіткий простір станів, заданий на множині відношень «умова – дія», який визначає вихідний стан складного об'єкта:

$$\{\tilde{Q}_i\}, \quad i \in I, \tag{1}$$

де $\{\tilde{Q}_i\}$ – множина процесів вихідних станів об'єктів; I – множина індексів процесів вихідних станів об'єктів;

– досліджувані процеси, що взаємодіють, мають асинхронний характер та функціонують в розподіленому нечіткому просторі станів (1):

$$\left\{\widetilde{\Pi}_k\right\}, \quad k \in K\,, \tag{2}$$

де $\left\{\widetilde{\Pi}_k\right\}$ – множина процесів; K – множина індексів процесів;

– об'єкт функціонує за умов нечіткості даних та знань, що визначають вихідний стан складних об'єктів (1);

– визначена множина функцій належності процесів (2):

$$\{\mu_i(k)\}, \quad i \in I\,, \tag{3}$$

де μ_i – множина функцій належності; k – деяка змінна, що визначає значення функцій належності.

Компоненти із (3):

$$\mu_i(k) \in \{\mu_i(k)\} \tag{4}$$

визначені на деякому нечіткому інтервалі і дозволяють отримати нові (часто неточні або наближені) дані, які потребують подальших досліджень.

Як коефіцієнти впевненості KU необхідно запропонувати та обґрунтувати міру на основі лінійного індексу нечіткості [2] функцій належності $\frac{2}{n}\ d(\bullet)$ як об'єктивну міру впевненості у задачах нечіткого логічного виведення.

Тоді

$$\frac{2}{n}\ d(\bullet) \xleftrightarrow{(\approx)} KU\,, \tag{5}$$

де $\xleftrightarrow{(\approx)}$ – визначає у даному випадку ознаку деякого наближення, причому

$$\xleftrightarrow{(\approx)} \le \varepsilon\,, \tag{6}$$

де ε – деяка міра наближення, що визначає норму похибки відповідно до (1) – (6).

Обґрунтування міри наближення коефіцієнтів впевненості до функцій належності

Для апробації досліджень вибрано й обґрунтовано нову та актуальну проблему ідентифікації та аналізу станів серцево-судинних захворювань, що і визначило предметну область досліджень [1].

Нехай є множина медичних діагностичних ознак $\widetilde{P}_j,\ j \in J$ для множини діагнозів $\{D_j\},\ j \in J$. Вся множина ознак $\widetilde{P}_j,\ j \in J$ розбивається на 4 групи за родинною властивістю $\widetilde{S}_j$, $\widetilde{F}_j$, $\widetilde{L}_j$, $\widetilde{D}\widetilde{S}_j$, які відповідають багатоетапному оцінюванню станів складного об'єкта.

Для кожного значення із множини ознак $\widetilde{P}_j,\ j \in J$ задається його функція належності μ_j до кожного конкретного діагнозу $\{D_j\},\ j \in J$, і отримуємо деяку множину

$$\{\mu_j(x)\},\ j \in J\,. \tag{7}$$

Задаються коефіцієнти впевненості KU_j ознак у діагнозах $\{D_j\},\ j \in J$ і отримуємо деяку множину

$$\{KU_j(k)\},\ j \in J. \tag{8}$$

Деякі положення підходу, що використовують еквівалентність значень коефіцієнтів впевненості і функцій належності, представлені у [5], але дані дослідження не враховують особливості властивостей, що отримані за допомогою цієї еквівалентності.

Виходячи із

$$\left|\{\mu_j(x)\}\right| = \left|\{KU_j(k)\}\right|, \tag{9}$$

ми можемо стверджувати про еквівалентність значень коефіцієнтів впевненості і функцій належності (9). Тоді

$$\forall \mu_j(x),\ \forall KU_j(k),\ \mu_j(x) \in \{\mu_j(x)\},\ KU_j(k) \in \{KU_j(k)\}\ \big|\ \mu_j(x_0) = KU_j(k_0) \tag{10}$$

$$\begin{gathered}\forall \Delta\mu_j(x),\ \forall \Delta KU_j(k),\ \Delta\mu_j(x) \in \{\Delta\mu_j(x)\},\\ \Delta KU_j(k) \in \{\Delta KU_j(k)\}\ \big|\ \Delta\mu_j(x_0) = \Delta KU_j(k_0)\end{gathered} \tag{11}$$

причому необхідно враховувати, що $\mu_j(x_0)$ є верхньою границею оцінки $KU_j(k_0)$

$$\mu_j(x_0) \geq KU_j(k_0), \tag{12}$$

а $\Delta\mu_j(x_0)$ є відповідно верхньою границею оцінки $\Delta KU_j(k_0)$

$$\Delta\mu_j(x_0) \geq \Delta KU_j(k_0). \tag{13}$$

Значення (12) і (13) безпосередньо випливають із сутності нечіткої інтервальної логіки і коефіцієнта впевненості [5].

Таким чином, кожній діагностичній ознаці [5] у групі ставиться у відповідність коефіцієнт впевненості $\{KU_j(k_0)\}$, який збігається, як показали дослідження, з функцією належності $\{\mu_j(x_0)\}$ значень ознаки $\widetilde{P}_j,\ j \in J$ до діагнозів $\{D_j\},\ j \in J$, тобто

$$\mu_j(x_0) \approx KU_j(k_0); \tag{14}$$

$$\Delta\mu_j(x_0) \approx \Delta KU_j(k_0). \tag{15}$$

Тоді, якщо існує деяка сукупність функцій належності $\{\mu_j(x_0)\}$, а також сукупність аналітичних залежностей, які визначають коефіцієнти впевненості $\{KU_j(k_0)\}$, то з деяким наближенням буде виконуватися (14).

Визначення коефіцієнта впевненості $KU_j(k)$ у діагнозах $\{D_j\},\ j \in J$ за всіма ознаками $\widetilde{P}_j,\ j \in J$, що входять у конкретну вибрану групу $\widetilde{S}_j$, $\widetilde{F}_j$, $\widetilde{L}_j$ або $\widetilde{D}\widetilde{S}_j$, впорядковану за зменшенням значимості, здійснюється згідно:

– для групи $\widetilde{S}_j$ визначаємо значимі (не нульові) значення функцій належності $\mu_b(\widetilde{S}_b)$:

$$\widetilde{S}_j = \bigcup_{b=1}^{B} Pr_{\widetilde{S}}\widetilde{S}_b \to \mu_b(\widetilde{S}_b), \tag{16}$$

де $Pr_{\tilde{s}}$ – параметри, що відповідають вибраній групі $\tilde{S}_j$; $\tilde{S}_b$ – значення вибраного параметра $Pr_{\tilde{s}}$ із групи $\tilde{S}_j$;

– для групи $\tilde{F}_j$ визначаємо значимі (не нульові) значення функцій належності $\mu_d\left(\tilde{F}_d\right)$:

$$\tilde{F}_j = \bigcup_{d=1}^{D} Pr_{\tilde{f}} \tilde{F}_d \rightarrow \mu_d\left(\tilde{F}_d\right), \tag{17}$$

де $Pr_{\tilde{f}}$ – параметри, що відповідають вибраній групі $\tilde{F}_j$; $\tilde{F}_d$ – значення вибраного параметра $Pr_{\tilde{f}}$ із групи $\tilde{F}_j$;

–для групи $\tilde{L}_j$ визначаємо значимі (не нульові) значення функцій належності $\mu_q\left(L_q\right)$:

$$\tilde{L}_j = \bigcup_{q=1}^{Q} Pr_{\tilde{l}} \tilde{L}_q \rightarrow \mu_q\left(\tilde{L}_q\right), \tag{18}$$

де $Pr_{\tilde{l}}$ – параметри, що відповідають вибраній групі $\tilde{L}_j$; $\tilde{L}_q$ – значення вибраного параметра $Pr_{\tilde{l}}$ із групи $\tilde{L}_j$;

– для групи $\tilde{D}\tilde{S}_j$ визначаємо значимі (не нульові) значення функцій належності $\mu_h\left(\tilde{D}\tilde{S}_h\right)$:

$$\tilde{D}\tilde{S}_j = \bigcup_{h=1}^{H} Pr_{\tilde{d}\tilde{s}} \tilde{D}\tilde{S}_h \rightarrow \mu_h\left(\tilde{D}\tilde{S}_h\right), \tag{19}$$

де $Pr_{\tilde{d}\tilde{s}}$ – параметри, що відповідають вибраній групі $\tilde{D}\tilde{S}_j$; $\tilde{D}\tilde{S}_h$ – значення вибраного параметра $Pr_{\tilde{d}\tilde{s}}$ із групи $\tilde{D}\tilde{S}_j$.

Визначення коефіцієнта впевненості $KU_j(k)$ з урахуванням (14) і (16) – (19) буде мати вигляд:

$$KU_j(k) = \frac{\sum_{b=0}^{B} \mu_b\left(\tilde{S}_b\right)}{\left|\tilde{S}_b\right|} \vee \frac{\sum_{d=0}^{D} \mu_d\left(\tilde{F}_d\right)}{\left|\tilde{F}_d\right|} \vee \frac{\sum_{q=0}^{Q} \mu_q\left(\tilde{L}_q\right)}{\left|\tilde{L}_q\right|} \vee \frac{\sum_{h=0}^{H} \mu_h\left(\tilde{D}\tilde{S}_h\right)}{\left|\tilde{D}\tilde{S}_h\right|}, \tag{20}$$

де $\mu_b\left(\tilde{S}_b\right)$, $\mu_d\left(\tilde{F}_d\right)$, $\mu_q\left(\tilde{L}_q\right)$, $\mu_h\left(\tilde{D}\tilde{S}_h\right)$ – функції належності за кожною ознакою, що відповідають групам $\tilde{S}_j$, $\tilde{F}_j$, $\tilde{L}_j$ і $\tilde{D}\tilde{S}_j$, впорядковані за зменшенням значимості; $\left|\tilde{S}_b\right|$, $\left|\tilde{F}_d\right|$, $\left|\tilde{L}_q\right|$, $\left|\tilde{D}\tilde{S}_h\right|$ – потужності множин значимих ознак, для яких $\mu_b\left(\tilde{S}_b\right) \geq \varepsilon^*$, $\mu_d\left(\tilde{F}_d\right) \geq \varepsilon^*$, $\mu_q\left(\tilde{L}_q\right) \geq \varepsilon^*$, $\mu_h\left(\tilde{D}\tilde{S}_h\right) \geq \varepsilon^*$, де ε^* – деякий мінімальний поріг, причому

$$\left|\tilde{S}_b\right| \subset \tilde{S}_j,\ \left|\tilde{F}_d\right| \subset \tilde{F}_j,\ \left|\tilde{L}_q\right| \subset \tilde{L}_j,\ \left|\tilde{D}\tilde{S}_h\right| \subset \tilde{D}\tilde{S}_j. \tag{21}$$

Визначення коефіцієнта впевненості на деякому інтервалі $\Delta KU_j(k)$ з врахуванням (15) буде мати вигляд:

$$\Delta KU_j(k) = \frac{\sum_{j=0}^{n} \Delta\mu_j(\widetilde{S}_j)Pl_i}{\sum Pl_i} \vee \frac{\sum_{j=0}^{n} \Delta\mu_j(\widetilde{F}_j)Pl_i}{\sum Pl_i} \vee \frac{\sum_{j=0}^{n} \Delta\mu_j(\widetilde{L}_j)Pl_i}{\sum Pl_i} \vee \tag{22}$$

$$\vee \frac{\sum_{j=0}^{n} \Delta\mu_j(\widetilde{D}\widetilde{S}_j)Pl_i}{\sum Pl_i},$$

де $\Delta\mu_j(\widetilde{S}_j)$, $\Delta\mu_j(\widetilde{F}_j)$, $\Delta\mu_j(\widetilde{L}_j)$, $\Delta\mu_j(\widetilde{D}\widetilde{S}_j)$ – функції належності, подані через деякий інтервал за кожною ознакою і відповідають відповідно групам $\widetilde{S}_j$, F_j, $\widetilde{L}_j$ і $\widetilde{D}\widetilde{S}_j$; Pl_i – елементарна площа, що відповідає отриманій області перетину всіх функцій належності, поданих через деякі інтервали за кожною із ознак, що відповідають групам $\widetilde{S}_j$, $\widetilde{F}_j$, $\widetilde{L}_j$ і $\widetilde{D}\widetilde{S}_j$.

Остаточний коефіцієнт впевненості $KU_{j(zakl)}$ або $\Delta KU_{j(zakl)}$ у діагнозі $\{D_j\}$, $j \in J$ на основі всіх коефіцієнтів $KU_j(k)$ або $\Delta KU_j(k)$, обчислених за кожною групою із споріднених ознак (7) – (22), визначимо відповідно за формулами:

$$KU_{j(zakl)} = max\ KU_j(k); \tag{23}$$

$$\Delta KU_{j(zakl)} = max\ \Delta KU_j(k). \tag{24}$$

Практична реалізація

Як методи, моделі та технології оцінювання простору станів складних об’єктів з використанням підходів до застосування нечіткої інтервальної логіки було спроектовано та досліджено інструментальні засоби оперативного оцінювання станів пацієнтів лікарняного закладу (Полтавська область, Україна), що мають проблеми із серцево-судинними захворюваннями. Програмна реалізація положень роботи виконана в об’єктно-орієнтованому програмному середовищі C++ Builder та Borland Delphi [3], її складність близька до експоненціальної і потребує подальших досліджень зі зменшення рівня складності [5]. Дослідна експлуатація системи дозволила зробити висновок про важливість та ефективність запропонованих методів, моделей та технологій [6].

Висновки

1. У даній роботі обґрунтовано актуальність задач, що визначають важливість застосування нових методів, моделей та технологій на основі лінгвістичних змінних та апарату нечіткої інтервальної логіки для відображення предметної області, ідентифікації та адекватного аналізу простору станів складного розподіленого об’єкта.

2. Як показали дослідження та результати впровадження засобів та технологій прийняття рішень, це призвело до підвищення вірогідності відповідальних рішень до 20% при одночасному зниженні часових ресурсів і вимог до кваліфікації обслуговуючого персоналу.

3. Серед споживачів даних досліджень можуть бути представники різних предметних областей, що використовують у своїй роботі нечіткі дані та нечіткі знання.

Література

1. Творошенко И.С. Анализ процессов принятия решений в интеллектуальных системах / И.С. Творошенко // Системы обработки информации. – 2010. – Вып. 2 (83). – С. 248-253.
2. Кучеренко Е.И. Процессы принятия решений в сложных системах на основе нечетких интервальных представлений / Е.И. Кучеренко, И.С. Творошенко // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2003. – Т. 1, № 7. – С. 79-86.
3. Творошенко И.С. Структура и функции интеллектуальных средств принятия решений в сложных системах / И.С. Творошенко // Искусственный интеллект. – 2004. – № 4. – С. 462-470.
4. Кучеренко Е.И. Прикладные аспекты моделирования нечетких процессов в сложных системах / Е.И. Кучеренко, И.С. Творошенко // Сборник научных трудов ХУВС. – 2010. – Вып. 1 (23). – С. 127-131.
5. Korenevskii N.A. Generation of fuzzy network models taught on basis of data structure for medical expert systems / N.A. Korenevskii, R.A. Krupchatnikov, S.A. Gorbatenko // Biomedical Engineering. – 2008. – Vol. 42. – № 2. – P. 67-72.
6. Творошенко И.С. Анализ процессов принятия решений в интеллектуальных системах / И.С. Творошенко // Системы обработки информации. – 2010. – Вып. 2 (83). – С. 248-253.

Literatura

1. Tvoroshenko I.S. Sistemy obrabotki informacii. 2010. Vyp. 2 (83). S. 248-253.
2. Kucherenko E.I. Vestnik nacional'nogo tehnicheskogo universiteta "HPI". T. 1. № 7. 2003. S. 79-86.
3. Tvoroshenko I.S. Iskusstvennyj intellekt. № 4. 2004. S. 462-470.
4. Kucherenko E.I. Sbornik nauchnyh trudov HUVS. Vyp. 1 (23). 2010. S. 127-131.
5. Korenevskii N.A. Biomedical Engineering. Vol 42. № 2. 2008. P. 67-72.
6. Tvoroshenko I.S. Sistemy obrabotki informacii. Vyp. 2 (83). 2010. S. 248-253.

Е.И. Кучеренко, И.С. Творошенко

Оперативное оценивание пространства состояний сложных распределенных объектов с использованием нечеткой интервальной логики

Рассмотрены особенности разработки систем оперативного оценивания состояний сложных объектов, функционирующих в условиях неопределенности. Обоснована мера приближения коэффициентов уверенности к функциям принадлежности при разработке методов и моделей оперативного оценивания состояний сложных объектов. Это позволяет на основе интеллектуальных подходов реализовать процессы принятия решений в сложных объектах, которые функционируют в условиях неопределенности.

Ye.I. Kucherenko, I.S. Tvoroshenko

Operational Evaluation of Space of Complex Distributed Object States Using Fuzzy Interval Logic

The peculiarities of the operational evaluation of states of complex objects, which is functioning under the conditions of uncertainty are considered. The measure of approximation of the coefficients of confidence to the membership functions during the development of methods and models of the operational evaluation stats of complex objects is grounded. This allows to implement on the basis of intellectual approaches objects functioning under the conditions of uncertainty.

Стаття надійшла до редакції 01.06.2011.